

① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3823249 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 38 23 249.9  
㉑ Anmeldetag: 8. 7. 88  
㉒ Offenlegungstag: 19. 1. 89

㉓ Int. Cl. 4:  
**H 01 L 29/267**  
H 01 L 29/46  
H 01 L 29/70  
// H 01 L 29/72, 29/78,  
31/10

14P 095 (I)

DE 3823249 A1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
10.07.87 JP P 62-170947

⑦① Anmelder:  
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦② Vertreter:  
Strehl, P., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.;  
Schübel-Hopf, U., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Groening,  
H., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte; Schulz, R., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.- u. Rechtsanw., 8000 München

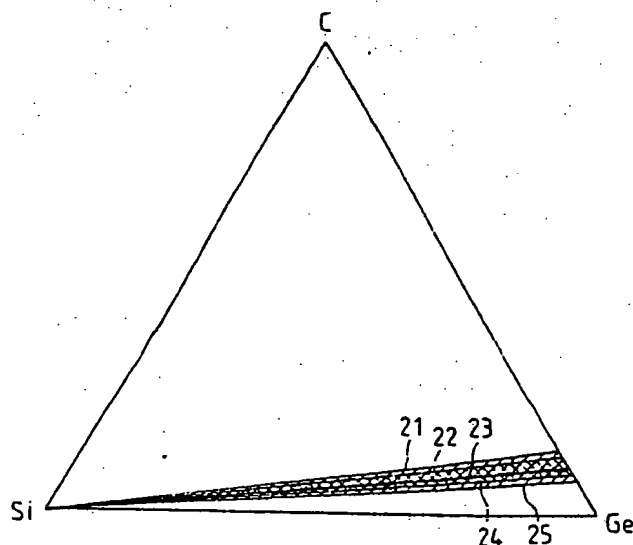
⑦③ Erfinder:  
Furukawa, Seijiro, Kawasaki, Kanagawa, JP; Etoh,  
Hiroyuki; Ishizaka, Akitoshi; Shimada, Toshikazu,  
Kokubunji, Tokio/Tokyo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Halbleitereinrichtung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Halbleitereinrichtung mit einer ersten Halbleiterschicht aus monokristallinem Silicium oder aus einer Silicium-Germanium-Legierung und einer zweiten Halbleiterschicht aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung, die auf der ersten Halbleiterschicht liegt. Die beiden Schichten bilden zwischen sich einen Heteroübergang. In einer derartigen Halbleitereinrichtung treten zwischen den beiden genannten Schichten keine oder nur sehr geringe Kristallgitter-Fehlanpassungen auf, so daß nicht die Gefahr besteht, daß sich in der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsschicht durch Fehlanpassung erzeugte Versetzungen bilden.

FIG. 2



## Patentansprüche

1. Halbleitereinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß

- eine erste Halbleiterschicht, die im wesentlichen aus Silicium besteht, und
- eine zweite Halbleiterschicht aus einem Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleitermaterial vorhanden sind, und
- die erste und zweite Halbleiterschicht zwischen sich einen Heteroübergang bilden.

2. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht aus einer Materialgruppe ausgewählt ist, die kristallines Silicium und eine kristalline Silicium-Germanium-Verbindung enthält.

3. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht von einem ersten Leitungstyp und die zweite Halbleiterschicht von einem zweiten Leitungstyp ist, der vom ersten Leitungstyp verschieden ist.

4. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Leitungstyp ein p-Typ und der zweite Leitungstyp aus einer Gruppe ausgewählt ist, die einen n-Typ und einen i-Typ umfaßt.

5. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht eine erste Gitterkonstante und das zweite Halbleitermaterial eine zweite Gitterkonstante aufweist, die im wesentlichen mit der ersten Gitterkonstanten übereinstimmt, und zwar aufgrund einer Einstellung eines gewünschten Germanium-Kohlenstoff-Verhältnisses in der zweiten Halbleiterschicht.

6. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gitterfehlانpassung zwischen der ersten und der zweiten Gitterkonstanten nicht größer als 1% ist.

7. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kohlenstoffanteil in der zweiten Halbleiterschicht im Bereich von 1 bis 12 Atomprozent liegt.

8. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Atomzahlverhältnis (Massenzahlverhältnis) von Germanium/Kohlenstoff in der zweiten Halbleiterschicht im Bereich von 6,7 bis 12 liegt.

9. Halbleitereinrichtung, gekennzeichnet durch

- ein Halbleitersubstrat,
- eine Mehrzahl von auf dem Halbleitersubstrat aufeinander liegenden Halbleiterschichten, die eine erste Halbleiterschicht, die im wesentlichen aus kristallinem Silicium besteht, und eine zweite Halbleiterschicht enthalten, die auf der ersten Halbleiterschicht liegt und aus kristallinem Silicium-Germanium-Kohlenstoff hergestellt ist,
- ein Paar von ersten Elektroden, um einen Strom in die mehreren Halbleiterschichten zu leiten, und
- eine zweite Elektrode zur Injektion eines Signalstroms in die mehreren Halbleiterschichten zwecks Steuerung des Stroms.

gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht von einem ersten Leitungstyp und die zweite Halbleiterschicht von einem zweiten Leitungstyp ist, um zwischen den Halbleiterschichten einen pn-Übergang zu bilden.

11. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht mit p-Typ Verunreinigungen und die zweite Halbleiterschicht mit n-Typ Verunreinigungen dotiert ist.

12. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine der ersten Elektroden mit der zweiten Halbleiterschicht und die zweite Elektrode mit der ersten Halbleiterschicht verbunden sind.

13. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht einen Basisbereich und die zweite Halbleiterschicht einen Emitterbereich bilden.

14. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht einen Kollektorbereich und die zweite Halbleiterschicht einen Basisbereich bilden.

15. Halbleitereinrichtung, gekennzeichnet durch

- ein Halbleitersubstrat,
- eine Mehrzahl von auf dem Halbleitersubstrat aufeinander liegenden Halbleiterschichten, zu denen eine Stromflußschicht aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung und eine kristalline Siliciumschicht gehören, mit der die Stromflußschicht einen Übergang bildet,
- ein Paar von ersten Elektroden, die mit der Stromflußschicht verbunden sind, und
- eine zweite Elektrode zur Steuerung eines in die Stromflußschicht fließenden Stroms.

16. Halbleitereinrichtung, gekennzeichnet durch

- eine erste Halbleiterschicht aus kristallinem Silicium,
- eine auf der ersten Halbleiterschicht liegende zweite Halbleiterschicht aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung, in der einfallendes Licht in Ladungsträger umgewandelt wird, und
- ein Paar von Elektroden zur Entnahme eines durch die Ladungsträger gebildeten Stroms.

17. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Halbleiterschicht undotiert ist.

18. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Halbleiterschicht zwischen einer p-Typ-Schicht und einer n-Typ-Schicht liegt.

19. Halbleitereinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Halbleiterschicht mit n-Typ-Verunreinigungen dotiert ist.

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Halbleitereinrichtung gemäß den Oberbegriffen der nebengeordneten Patentansprüche 1, 9, 15 und 16. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf eine Halbleitereinrichtung mit

besteht. Die Halbleitereinrichtung enthält elektronische Elemente, z. B. einen bipolaren Transistor oder einen Feldeffekttransistor, oder optische Elemente, z. B. eine Photodiode.

Im Zusammenhang mit aus Silicium aufgebauten Halbleitereinrichtungen wurden bereits Silicium-Germanium-Legierungen zur Verwendung als Halbleitermaterial studiert, die Elemente aus der Gruppe IV enthalten. Hieraus hergestellte monokristalline Schichten lassen sich durch Aufwachsen auf monokristallinem Silicium bilden. Eine Silicium-Germanium-Legierung weist den Vorteil auf, daß die Energiebandlücke der Legierung monoton geändert werden kann, und zwar durch Veränderung ihres Germaniumanteils (vgl. D.V. Lang et al., Applied Physics Letters, Band 47, Seite 1333 (1986)). Ferner ist die Energiebandlücke einer Silicium-Germanium-Legierung kleiner als die von monokristallinem Silicium, so daß verschiedene Einrichtungen studiert wurden, bei denen die Differenz zwischen diesen beiden Energiebandlücken ausgenutzt wird. In diesem Zusammenhang wurden z. B. Photodioden, die einen Mehrschichtfilm mit einer monokristallinen Siliciumschicht und einer Silicium-Germanium-Schicht enthalten, und modifizierte Feldeffekttransistoren experimentell untersucht.

Der Einkristall einer Silicium-Germanium-Legierung zeigt jedoch eine vergrößerte Kristallgitter-Fehlanpassung gegenüber monokristallinem Silicium, wenn der Germaniumanteil der Legierung ansteigt, so daß Störungen bzw. Verwerfungen zu erwarten sind. Wächst daher eine monokristalline Silicium-Germanium-Legierung mit hohem Germaniumanteil auf monokristallinem Silicium auf, so entstehen durch Fehlanpassung erzeugte Versetzungen infolge der genannten Verwerfungen, was sich nachteilig für die Anwendung der Legierung bei Halbleitereinrichtungen auswirkt. Insbesondere beim Aufwachsen einer dünnen monokristallinen Silicium-Germanium-Legierungsschicht auf monokristallinem Silicium spielt eine kritische Dicke für das Aufwachsen des Monokristalls der Legierung ohne durch Fehlanpassungen erzeugte Versetzungen eine wichtige Rolle, und zwar in Abhängigkeit des Germaniumanteils der Silicium-Germanium-Legierungsschicht.

Diese kritische Schichtdicke nimmt ab, wenn der Germaniumanteil ansteigt. Beträgt z. B. der Germaniumanteil 40%, was bedeutet, daß die Differenz zwischen den Energiebandbreiten des monokristallinen Siliciums und der Silicium-Germanium-Legierung etwa 0,3 eV beträgt, so liegt die kritische Schichtdicke des dünnen Legierungsfilms im Bereich von 20 bis 30 nm (200 bis 300 Å) (vgl. R. People et al., Applied Physics Letters, Band 47, Seite 322 (1985)).

Es tritt also das Problem auf, daß beim Aufwachsen eines Einkristalls aus einer Silicium-Germanium-Legierung auf einkristallinem Silicium einerseits die Dicke relativ groß sein muß, um eine gute Einkristallinität zu erzielen, andererseits dadurch aber der kritische Wert der Dicke des Einkristalls der Legierung leicht überschritten werden kann, so daß sich durch Gitterfehlanpassungen erzeugte Versetzungen bei der Bildung eines dicken Legierungsfilms ergeben.

Um die kritische Schichtdicke einer Silicium-Germanium-Legierungsschicht zu erhöhen, muß der Germaniumanteil dieser Schicht reduziert werden, was jedoch zur Folge hat, daß die Verwendung einer Silicium-Germanium-Legierung mit einer gewünschten Energiebandlücke praktisch nicht mehr möglich ist.

genannten Nachteile zu vermeiden.

Lösungen der gestellten Aufgabe sind den kennzeichnenden Teilen der nebengeordneten Patentansprüche 1, 9, 15 und 16 zu entnehmen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den jeweils nachgeordneten Unteransprüchen gekennzeichnet.

In Übereinstimmung mit einem Aspekt der vorliegenden Erfindung enthält eine Halbleitereinrichtung eine erste Halbleiterschicht aus einem monokristallinen Halbleitermaterial, das Silicium als Hauptkomponente aufweist, und eine zweite Halbleiterschicht aus monokristallinem Halbleitermaterial, das dadurch gebildet wird, daß Kohlenstoff (Carbon), das in die Silicium-Germanium-Legierung aufgenommen wird. Diese Halbleitereinrichtung kann z. B. so strukturiert sein, daß die erste und die zweite Halbleiterschicht einen Heteroübergang (hetero junction) zwischen sich bilden.

Nach einer Ausgestaltung der Erfindung kann die innerhalb der Halbleitereinrichtung vorhandene erste Halbleiterschicht aus monokristallinem Silicium oder aus einer (monokristallinen) Silicium-Germanium-Legierung hergestellt sein.

Nach einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung enthält eine Halbleitereinrichtung eine erste Halbleiterschicht aus Halbleitermaterial, das Silicium als Hauptkomponente aufweist, und das eine erste Gitterkonstante besitzt, sowie eine zweite Halbleiterschicht aus einem Halbleitermaterial, das durch Aufnahme von Kohlenstoff (Carbon) in die Silicium-Germanium-Legierung erhalten wird, und das eine zweite Gitterkonstante aufweist, wobei die erste und die zweite Halbleiterschicht einen Übergang zwischen sich bilden und die zweite Gitterkonstante im wesentlichen mit der ersten Gitterkonstanten übereinstimmt, und zwar dadurch, daß ein gewünschter Kohlenstoffanteil in der zweiten Schicht eingestellt ist, um dies zu erreichen.

Hierdurch lassen sich Gitterfehlanpassungen reduzieren, so daß innerhalb der Halbleitereinrichtung keine durch Gitterfehlanpassungen erzeugten Versetzungen produziert werden.

Nach einem anderen Aspekt der Erfindung enthält eine Halbleitereinrichtung eine Halbleiterschicht aus einem Halbleitermaterial, das Silicium als Hauptkomponente aufweist, und eine zweite Halbleiterschicht, die auf der ersten Halbleiterschicht liegt, und die eine gewünschte Energiebandlücke in bezug zu derjenigen der ersten Halbleiterschicht aufweist.

Ferner läßt sich nach der Erfindung eine Halbleitereinrichtung erzeugen, die eine erste Halbleiterschicht aus einem Halbleitermaterial aufweist, das Silicium als Hauptkomponente enthält, und eine zweite Halbleiterschicht, die auf der ersten Halbleiterschicht liegt, wobei die Energiebandlücke der zweiten Halbleiterschicht kontinuierlich oder sprunghaft verändert werden kann.

Die Zeichnung stellt Ausführungsbeispiele der Erfindung dar. Es zeigen:

Fig. 1 eine graphische Darstellung zur Erläuterung der Größe der Energiebandlücke in Abhängigkeit des Siliciumanteils in einem Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Material,

Fig. 2 eine graphische Darstellung, die vorteilhaft zu verwendende Anteile von Silicium, Germanium und Kohlenstoff innerhalb eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Materials angibt,

Fig. 3 ein Beispiel eines nach der Erfindung hergestellten bipolaren Transistors mit Heteroübergang,

Fig. 4 ein Beispiel eines nach der Erfindung herge-

gang.

Fig. 5 ein Beispiel eines nach der Erfindung hergestellten Feldeffekttransistors, und

Fig. 6 ein Beispiel einer nach der Erfindung hergestellten Photodiode.

Im folgenden wird anhand der Fig. 1 eine Kohlenstoff (Carbon) enthaltende Silicium-Germanium-Legierung beschrieben, die ein wesentliches Merkmal der Erfindung ist. Die Gitterkonstante eines Kristalls (mit Diamantstruktur) aus Kohlenstoff, welcher wie Silicium und Germanium ein Element der IV. Gruppe ist, ist kleiner als die eines Siliciumkristalls. Demzufolge weist eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung, die durch Aufnahme von Kohlenstoff in eine Silicium-Germanium-Legierung erhalten wird, eine kleinere Gitterkonstante als die Silicium-Germanium-Legierung auf, welche größer ist als die des Silicium-Einkristalls. Es ist darüber hinaus möglich, eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung zu erzeugen, deren Gitterkonstante (Kristallgitterkonstante) mit derjenigen des mono- bzw. einkristallinen Siliciums übereinstimmt. Auch kann die Energiebandlücke  $E_g$  der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung durch Änderung der Anteile der jeweiligen Elemente verändert werden, während die Gitterkonstante selbst konstantgehalten wird. Genauer gesagt, läßt sich die Energiebandlücke der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung auf einen gewünschten Wert einstellen, und zwar durch Änderung der Verhältnisse von Germanium und Kohlenstoff zu Silicium bei konstantem Verhältnis von Germanium zu Kohlenstoff, wobei die Gitterkonstante der Legierung auf einem gewünschten Wert gehalten wird. In Fig. 1 ist die Energiebandlücke eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleitermaterials mit einem Germanium/Kohlenstoff-Verhältnis von 9:1 über den Siliciumanteil des Materials aufgetragen. Wie die Fig. zeigt, läßt sich mit abnehmendem Siliciumanteil die Energiebandlücke vergrößern.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 2 werden die Anteile von Kohlenstoff und Germanium in der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleiterschicht im einzelnen erläutert. Es ist gewünscht, daß die Kristallgitterkonstante der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleiterschicht im wesentlichen mit derjenigen der Halbleiterschicht übereinstimmt, die hauptsächlich aus Silicium besteht, und die mit der zuerst genannten einen Übergang (junction) bildet, um Faktoren steuern zu können, die die Eigenschaften der Halbleitereinrichtung nachteilig beeinflussen, z. B. durch Fehlanpassungen erzeugte Versetzungen in der zuerst genannten Schicht. Ferner soll die Gitterkonstanten-Fehlanpassung zwischen der einkristallinen Siliciumhalbleiterschicht und der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleiterschicht, die mit ihr verbunden ist, 1% oder weniger betragen. Ist diese Bedingung erfüllt, so läßt sich eine relativ dünne Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleiterschicht mit ausgezeichneter Kristallinität erzeugen. Der Bereich, in welchem eine derart bevorzugte Schicht erhalten wird, ist in Fig. 2 als Fläche dargestellt, die zwischen den beiden Geraden 21 und 25 liegt. Die Fig. 2 zeigt eine graphische Darstellung zur Angabe der Anteilsverhältnisse der Elemente, durch die das Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleitermaterial gebildet wird, wobei die durchgezogene Linie 23 diejenigen Anteilsverhältnisse angibt, bei denen die Gitterkonstante des Materials im wesentlichen mit derjenigen des monokristallinen Siliciums

ne Linie 23 angegeben sind, ist das Atomzahlverhältnis von Germanium/Kohlenstoff gleich 9:1. Liegt insbesondere die Gitterfehlanpassung bei 0,5% oder darunter, so kann eine relativ dicke Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleiterschicht mit ausgezeichneter Kristallinität auf eine monokristalline Siliciumschicht aufwachsen. Der in Fig. 2 durch die Geraden 22 und 24 eingeschlossene Bereich entspricht einem Gebiet, in welchem die Gitterfehlanpassung einen Wert von 0,5% oder weniger aufweist. Die durchgezogenen Linien 21, 22, 23, 24 und 25 entsprechen jeweils Materialien mit einem Atomzahlverhältnis von Germanium/Kohlenstoff, das 6,7/1, 7,6/1, 9/1, 10/1 und 12/1 beträgt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff(Carbon)-Halbleiterschicht als Halbleiterschicht zur Bildung eines Heteroübergangs verwendet, und zwar gemeinsam mit einer Halbleiterschicht, die im wesentlichen aus Silicium besteht. Auf diese Weise lassen sich jegliche Halbleitereinrichtungen herstellen, die einen Heteroübergang (hetero junction) aufweisen. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben.

Die Fig. 3 bezieht sich auf ein Beispiel zur Bildung eines Hetero-Bipolar-Transistors (nachfolgend als "HBT" bezeichnet), bei dem zur Bildung seines Emitters eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung verwendet wird. Eine n-Si-Kollektorschicht 32 mit einer Dicke von 2  $\mu\text{m}$  und einer Verunreinigungs- bzw. Dotierungskonzentration von  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  liegt auf einem n-Si(100)-Substrat 31 mit einer Verunreinigungs- bzw. Dotierungskonzentration von  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Die Kollektorschicht 32 wird mit Hilfe eines konventionellen Verfahrens gebildet, beispielsweise durch das CVD-Verfahren. Die Oberfläche des so erhaltenen Schichtkörpers wird chemisch gereinigt, wobei der resultierende Schichtkörper in ein Molekularstrahl-Epitaxiesystem (nachfolgend als "MBE-System" bezeichnet) hineingeführt wird. Die Oberfläche des Schichtkörpers wird weiter gereinigt, wobei die Temperatur des Substrats auf 550°C eingestellt wird. Durch einen Aufwachs Vorgang wird dann eine n-Si-Schicht 33 mit einer Dotierungskonzentration von  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,1  $\mu\text{m}$  auf der Schicht 32 gebildet, und zwar durch Bestrahlung mit Molekularstrahlen aus Si und Sb (es sei darauf hingewiesen, daß die Bildung der Schicht 33 zur Erzeugung eines HBT nicht in jedem Fall erforderlich ist). Weiterhin wird durch einen Aufwachs Vorgang eine p-Si-Basis-schicht 34 mit einer Dotierungskonzentration von  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,1  $\mu\text{m}$  erzeugt, und zwar durch Bestrahlung mit Molekularstrahlen aus Si und Ga. Die Schicht 34 liegt auf der Schicht 33. Sodann wird durch einen Aufwachs Vorgang auf der Schicht 34 eine n-Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Emitterschicht 35 mit einer Dotierungskonzentration von  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,3  $\mu\text{m}$  erzeugt, und zwar durch Bestrahlung der Schicht 34 mit Molekularstrahlen aus Si, Ge, C und Sb sowie mit einem Strahlintensitätsverhältnis von Si zu Ge zu C von 40:54:6. Die auf diese Weise erzeugte Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung weist eine Energiebandlücke von etwa 1,3 eV auf, die größer ist als die von Silicium. Der erhaltene Schichtkörper wird aus dem MBE-System herausgenommen und einem Trockenätzprozeß unterzogen. Mit Hilfe eines konventionellen Verfahrens wird ein Isolationsfilm 39 gebildet, wonach anschließend eine Emitterelektrode

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Heteroübergang zwischen den Grenzflächen von Basisschicht 34 und Emitterschicht 35 durch einen Übergang zwischen monokristallinem Silicium und einer monokristallinen Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung gebildet. In der Emitterschicht 35 treten keine Kristallgitter-Fehlanpassungen auf, so daß ein bipolarer Transistor mit ausgezeichneten Eigenschaften erhalten wird. Der Stromfluß zwischen der Emittierelektrode 36 und der Kollektorelektrode 38 wird durch die Basiselktrode 37 gesteuert.

Der auf diese Weise erhaltene Transistor weist eine hohe Stromverstärkung von 1000 auf. Obwohl gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel die Herstellung eines n-p-n-Transistors beschrieben wurde, läßt sich auf diese Weise auch ein p-n-p-Transistor herstellen, der einen Emitter aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung enthält.

Anhand der Ergebnisse dieses Ausführungsbeispiels läßt sich erkennen, daß ein Transistor mit ausgezeichneten Eigenschaften erhalten wird, wenn er einen Emitterbereich aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung aufweist.

Im folgenden wird anhand der Fig. 4 die Herstellung eines HBT mit einer Basisschicht aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung im einzelnen beschrieben. In ähnlicher Weise wie beim oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wird eine n-Si-Kollektorschicht 42 auf einem n-Si-Substrat 41 gebildet. Der erhaltene Schichtkörper wird chemisch gereinigt und in ein MBE-System hineingesetzt, um die Oberfläche des Schichtkörpers zu reinigen.

Die Temperatur des Substrats wird auf 600°C eingestellt. Durch einen Aufwachsvorgang wird eine p-Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung mit einer Ga-Konzentration von  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,1 µm auf die Kollektorschicht 42 aufgebracht, und zwar durch Bestrahlung der Schicht 42 mit Molekularstrahlen aus Si, Ge, C und Ga bei einem Strahlintensitätsverhältnis des Si zu Ge zu C von 70:29:1, um eine Basisschicht 43 zu erhalten. Dieser Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm 43 weist eine Energiebandlücke auf, die kleiner ist als die von Silicium, und zwar um 0,1 bis 0,2 eV. Mit Hilfe des MBE-Verfahrens wird durch einen anschließenden Wachstumsvorgang ein n-Si-Film 44 mit einer Sb-Konzentration von  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  auf den Film 43 aufgebracht, und zwar bis zu einer Dicke von 0,3 µm. Sodann wird in ähnlicher Weise wie beim oben beschriebenen Ausführungsbeispiel der Schichtkörper einem Trockenätzvorgang ausgesetzt. Es wird zunächst ein Isolationsfilm 49 gebildet, so daß im Anschluß daran eine Emittierelektrode 46, eine Basiselktrode 47 und eine Kollektorelektrode 48 in konventioneller Weise erzeugt werden können, beispielsweise durch einen Aufdampfprozeß, um einen Transistor zu erhalten.

In diesem Ausführungsbeispiel wird der Heteroübergang zwischen der Basisschicht und der Kollektorschicht 42 durch einen Übergang einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung zu monokristallinem Silicium gebildet. Dieses Beispiel unterscheidet sich vom ersten Beispiel dadurch, daß die Energiebandlücke der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht 43 auf einen kleineren Wert eingestellt ist als der des monokristallinen Siliciums. Dieser Transistor zeigt eine Stromverstärkung von 500. In ähnlicher Weise wie oben beschrieben läßt sich auch ein Transistor mit einer n-Typ-Basis

herstellen.

Anhand der Ergebnisse dieses Ausführungsbeispiels läßt sich erkennen, daß ein ausgezeichneter Transistor durch Verwendung einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung als Basis erhalten wird.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 5 wird nachfolgend ein modulationsdotierter Feldeffekttransistor (im folgenden als "MODFET" bezeichnet) mit einer Halbleiterschicht aus einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung im einzelnen beschrieben. Eine n-monokristalline Siliciumplatte 50 von  $10^4 \Omega \times \text{cm}$  wird chemisch gereinigt und in ein MBE-System hineingebracht, um ihre Oberfläche zu säubern. Die so behandelte Platte wird mit Molekularstrahlen aus Silicium bei einer Temperatur der Platte von 650°C bestrahlt, so daß darauf eine undotierte Siliciumschicht 51 aufwächst, und zwar bis zu einer Dicke von 0,8 µm. Auf diese Weise wird eine Si-Schicht 51 erhalten. Dieses Substrat wird mit Molekularstrahlen aus Si, Ge und C bei einem Strahlintensitätsverhältnis des Si zu Ge zu C von 40:54:6 bestrahlt, um darauf eine monokristalline Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung aufwachsen zu lassen. Nachdem auf diese Weise ein undotierter Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Film 52 mit einer Dicke von 5 nm (50 Å) gebildet worden ist, kommt zusätzlich zu den oben genannten Strahlen ein Ga-Molekularstrahl zum Einsatz, um eine p-Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsschicht 53 mit einer Ga-Konzentration von  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,1 µm zu erzeugen.

Das resultierende Substrat wird aus dem MBE-System herausgenommen und einem Photoätzprozeß unterworfen, um im Anschluß daran in konventioneller Weise Source- und Drainelektroden 54 und 55 sowie eine Gateelektrode 56 zu bilden. Auf diese Weise wird ein MODFET mit einem p-Kanal hergestellt. Die Gateelektrode 56 und die Schicht 53 bilden einen Schottky-Übergang, wobei der Stromfluß zwischen der Sourceelektrode und der Drainelektrode durch das Feld gesteuert wird, das an die Gateelektrode 56 angelegt wird. Das so erhaltene Element zeigt eine ausgezeichnete Steilheit von 80 mS/mm, wenn seine Gatelänge 1,6 µm beträgt. In der beschriebenen Weise läßt sich auch ein MODFET mit einem n-Kanal herstellen.

Anhand der Ergebnisse dieses Beispiels läßt sich erkennen, daß ein MODFET mit ausgezeichneten Eigenschaften bei Verwendung eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms erhalten wird.

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die Fig. 6 eine pin-Photodiode näher beschrieben, die eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht als i-Schicht aufweist. Ein n-Si(100)-Substrat 61 mit einer Dotierungs- bzw. Verunreinigungskonzentration von  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  wird chemisch gereinigt und in ein MBE-System hineingebracht, um die Oberfläche des Substrats weiter zu säubern. Die Temperatur des Substrats wird auf 600°C eingestellt. Das auf diese Weise gesäuberte Substrat wird durch Molekularstrahlen aus Si, Ge und C bestrahlt, um einen undotierten Film 62 mit einer Dicke von 1 µm und einem Atomzahlverhältnis des Si zu Ge zu C von 60:36:4 zu erhalten. Die Bestrahlung mit Molekularstrahlen aus Si und Ga wird fortgesetzt, um eine p-Si-Schicht 63 mit einer Ga-Konzentration von  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  und einer Dicke von 0,2 µm zu bilden. Nachfolgend wird ein Photoätzprozeß durchgeführt. Sodann werden Elektroden 64 und 65 gebildet, um ein pin-Photodiode zu erhalten. Die Energiebandlücke der Photodiode, die z. B. oben beschrieben worden ist, kann im Bereich von 0,9 bis 1,6

sammensetzung der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung, die zur Bildung der i-Schicht verwendet worden ist, so daß sich der Photoempfangsbereich der Photodiode im Bereich von 780 bis 1400 nm einstellen läßt.

Das obige Ausführungsbeispiel zeigt, daß der Photoempfangsbereich einer pin-Photodiode, bei der für die i-Schicht ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm verwendet wird, beliebig im Bereich zwischen 780 bis 1400 nm durch Änderung der Zusammensetzung der Legierung eingestellt werden kann.

Die vorhergehende Beschreibung bezog sich nur auf die Herstellung eines Bipolartransistors, eines FET und einer Photodiode, worauf die Erfindung allerdings nicht beschränkt ist. Selbstverständlich läßt sich die Erfindung auch bei der Herstellung anderer elektronischer und optischer Elemente verwenden. Die wesentlichste Anforderung bei einer Einrichtung nach der Erfindung besteht darin, daß die Einrichtung eine Struktur aus einer Halbleiterschicht (unabhängig von ihrem Leitungstyp) aus einem halbleitenden Material mit Silicium als Hauptkomponente sowie einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Halbleiterschicht (unabhängig von ihrem Leitungstyp) aufweist, die direkt auf der zuerst genannten Halbleiterschicht liegt. Diese beiden Schichten können entweder weitere Elemente, wie z. B. Gallium oder Antimon als leitende Verunreinigungen (Donatoren oder Akzeptoren) enthalten oder nicht. Insbesondere der Leitungstyp einer jeden Schicht läßt sich in Abhängigkeit der Funktion des Elements auswählen, bei dem die vorliegende Erfindung zum Einsatz kommt. Die Halbleiterschicht, die im wesentlichen aus Silicium besteht, und die Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht, die direkt auf dieser Halbleiterschicht liegt, werden nachfolgend durch einzelne Beispiele näher beschrieben. Diese Beispiele können innerhalb der oben beschriebenen Elemente zum Einsatz kommen.

#### Beispiel 1

Ein Silicium(100)-Substrat, das chemisch gereinigt worden ist, wird in ein Molekularstrahl-Epitaxiesystem (MBE-System) eingebracht, um die Oberfläche des Substrats durch thermische Behandlung in einem Ultrahochvakuum noch weiter zu säubern. Der Ausdruck "MBE-System" bezieht sich auf ein Aufdampf- bzw. Verdampfungssystem, das bei einem Vakuum von  $10^{-9}$  Torr oder darunter arbeitet und eine Mehrzahl von unabhängig arbeitenden Verdampfungseinrichtungen zur Erzeugung von Molekular- oder Atomstrahlen aufweist. Das MBE-System bei diesem Beispiel weist ein bestes Vakuum von  $5 \times 10^{-11}$  Torr auf und enthält als Verdampfungseinrichtungen Elektronenkanonen für Silicium und Kohlenstoff (Carbon) sowie eine Knudsen-Zelle für Germanium.

Die Temperatur des gereinigten Substrats wird auf 600°C eingestellt. Von demjenigen Zeitpunkt an, bei dem die Temperatur konstant wird, beginnt das Aufwachsen der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung mit einem Molekularstrahl-Intensitätsverhältnis des Si zu Ge zu C von 80:18:2. Der Wachstumsprozeß wird unterbrochen, wenn die Dicke des Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Films etwa 1 µm erreicht.

Die Gitterkonstante der so hergestellten Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung ist nahezu gleich derjenigen des Siliciumsubstrats, so daß der erhaltene Film eine niedrige Versetzungsdichte und eine ausge-

eines Silicium(100)-Substrats, wobei jedoch auch ein Siliciumsubstrat verwendet werden kann, das eine andere Kristallorientierung aufweist, z. B. eine (111)- oder (110)-Orientierung. Auch in anderen Fällen werden ähnliche Ergebnisse unabhängig von der Art der Kristallorientierung des verwendeten Substrats erhalten.

#### Beispiel 2

Dieses Beispiel verdeutlicht die Schwankung der Energiebandlücke (nachfolgend als "Eg" bezeichnet) des Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Films in Abhängigkeit seiner Zusammensetzung, mit dem Vorbehalt, daß die Gitterkonstante des Films mit derjenigen des Siliciums weiterhin koinzidiert.

In ähnlicher Weise wie beim Beispiel 1 wird ein Siliciumsubstrat mit Molekularstrahlen aus Si, Ge und C bestrahlt, um darauf einen Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm aufwachsen zu lassen. Bei dieser Bestrahlung werden die Strahlintensitäten so gesteuert, daß ein Atomzahlverhältnis von Si zu Ge zu C von 60:36:4 (Film 1), 40:54:6 (Film 2), 20:72:8 (Film 3) oder 0:90:10 (Film 4) erhalten wird. Bei jedem der Filme beträgt das Atomzahlverhältnis von Ge zu C 9:1. Erreicht die Dicke des Legierungsfilms einen Wert von etwa 1 µm, so wird das Aufwachsen des Films unterbrochen.

Die auf diese Weise hergestellten Filme 1, 2, 3 und 4 zeigen eine Gitterkonstante, die der des Siliciumsubstrats gleicht (bzw. mit dieser koinzidiert). Anhand der Ergebnisse läßt sich erkennen, daß die Gitterkonstante eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms so eingestellt werden kann, daß sie mit derjenigen des Siliciums koinzidiert, und zwar durch Einstellung des Atomzahlverhältnisses von Ge zu C auf 9:1. Die Energiebandlücke Eg der jeweiligen Filme 1, 2, 3 und 4 beträgt jeweils etwa 1,2 eV, 1,3 eV, 1,4 eV und 1,35 eV, wobei all diese Energiebandlücken größer sind als die von Silicium, die 1,12 eV beträgt (siehe Fig. 1). Anhand der in Fig. 1 gezeigten Ergebnisse läßt sich erkennen, daß ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm, der frei von Gitterfehlpassungen gegenüber Silicium ist, und eine Energiebandlücke Eg aufweist, die von der des Siliciums verschieden ist, bei einem Siliciumanteil von bis zu 90 Atom-% hergestellt werden kann, also bei einem Kohlenstoffanteil von wenigstens 1 Atom-%.

Dieses Beispiel zeigt ferner, daß die Energiebandlücke Eg des Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms, der dieselbe Gitterkonstante wie das Silicium aufweist, im Bereich zwischen 1,1 bis 1,6 eV variiert werden kann.

#### Beispiel 3

In ähnlicher Weise wie beim Beispiel 1 wird durch einen Aufwachsvorgang auf einem Siliciumsubstrat eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung aufgebracht, und zwar mit einem Atomzahlverhältnis von Si zu Ge zu C von 80:18:2, sowie mit einer Dicke von 1 µm. Die Legierungsschicht wird mit Silicium-Molekularstrahlen bestrahlt, um auf ihr einen Siliciumfilm mit einer Dicke von 1 µm zu bilden.

Dieser Siliciumfilm zeigt eine bemerkenswert niedrige Versetzungsdichte und eine ausgezeichnete Kristallinität.

Ergebnisse dieses Beispiels zeigen, daß ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm, dessen Gitterkonstante mit derjenigen des Siliciums koinzidiert,



gestattet.

#### Beispiel 4

Dieses Beispiel betrifft einen Fall, bei dem ein dotierter Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm verwendet wird. In ähnlicher Weise wie beim oben beschriebenen Beispiel 1 wird durch einen Aufwuchsvorgang auf einem Siliciumsubstrat ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm erzeugt, und zwar bei einem Molekularstrahl-Intensitätsverhältnis des Si zu Ge zu C von 80:18:2, wobei das Substrat gleichzeitig mit Antimon-Molekularstrahlen bestrahlt wird. Auf diese Weise wird ein n-Typ Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm gebildet. Die Konzentration der n-Typ-Verunreinigungen beträgt etwa  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Wenn die Dicke des Legierungsfilms einen Wert von etwa  $1 \mu\text{m}$  erreicht, wird der Wachstumsprozeß des Films unterbrochen.

Der auf diese Weise erzeugte Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm zeigt eine ausgezeichnete Kristallinität, was bedeutet, daß die Kristallinität des Films nicht durch die Dotierung von Verunreinigungen beeinflusst ist.

In einem Mehrschichtfilm, der durch wechselweises Aufwachsen von Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Filmen ohne Gitterfehlanpassungen gegenüber Silicium und Siliciumfilmen auf einem Siliciumsubstrat erhalten wird, wird eine Überdotierung, also eine Dotierung der Siliciumfilme, nur dann wirksam, wenn der Aktivitätskoeffizient des Dotierungsmittels vergrößert wird.

Die oben beschriebenen Beispiele beziehen sich alle auf Fälle, bei denen die Gitterkonstante einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsschicht mit der des Siliciums koinzidiert bzw. übereinstimmt. Es läßt sich aber auch ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Film auf einem Siliciumsubstrat durch einen Aufwuchsvorgang bilden, und zwar ohne Fehlversetzungen, auch wenn kleine Gitterkonstanten-Fehlanspassungen zwischen dem Silicium und der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung vorhanden sind. Solche Fälle werden in den nachfolgenden Beispielen beschrieben.

#### Beispiel 5

In ähnlicher Weise wie beim Beispiel 1 wird durch einen Wachstumsvorgang auf einem Siliciumsubstrat ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung gebildet, um einen Film 5 mit einem Atomzahlverhältnis des Si zu Ge zu C von 70:29:1 und einer Dicke von  $1 \mu\text{m}$ , einen Film 6 mit derselben Zusammensetzung wie beim Film 5 und einer Dicke von  $0,1 \mu\text{m}$  sowie einen Film 7 mit einem Atomzahlverhältnis des Si zu Ge zu C von 70:28:2 und einer Dicke von  $1 \mu\text{m}$  zu erzeugen.

Von diesen Filmen weist der Film 5 eine Gitterfehlanspassung von etwa 0,8% gegenüber Silicium auf, so daß aufgrund von Verwerfungen zwischen dem Film und dem Substrat viele Fehlversetzungen (misfit dislocations) vorhanden sind, während der Film 6, der dieselbe Zusammensetzung wie der Film 5 aufweist, ein gleich großes Wachstum zeigt, wobei seine Gitterkonstante in Richtung parallel zum Substrat mit der des Substrats übereinstimmt, und zwar infolge seiner Dünne. Auch der Film 7 ruft eine Verzerrung bzw. Verwerfung von etwa 0,4% hervor, und zwar aufgrund der Differenz der Gitterkonstanten zwischen dem Film und dem Siliciumsubstrat, wobei jedoch der Film 7 ein gleich

ausgezeichnete Kristallinität aufweist, da seine Verwerfung bzw. Verzerrung nur gering ist.

Die Energiebandlücken der Filme 6 und 7 sind alle 2 kleiner als die des Siliciums, und zwar um 0,1 bis 0,2 eV.

Anhand der Ergebnisse dieses Beispiels läßt sich erkennen, daß das Germanium/Kohlenstoff-Atomzahlverhältnis der Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung, die epitaktisch auf dem Silicium aufgewachsen ist, im Bereich von 6,7 bis 12 und vorzugsweise im Bereich von 7,6 bis 10 liegen sollte.

Die zuvor beschriebenen Beispiele 1 bis 5 beziehen sich alle auf die Herstellung von Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilmen mit Hilfe der Molekularstrahlepitaxie (MBE). Ähnlich können jedoch auch Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilme durch andere Filmherstellungsverfahren erzeugt werden, beispielsweise durch ein thermisches CVD-Verfahren, ein Photo-CVD-Verfahren, ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren mit mikrowellenangeregtem Plasma oder durch ein MOCVD-Verfahren. Beim thermischen CVD-Verfahren, Photo-CVD-Verfahren und beim plasmaverstärkten CVD-Verfahren werden im allgemeinen als Silicium-, Germanium- und Kohlenstoffquellen jeweils Siliciumwasserstoffgas, Germanium enthaltendes Gas (germane gas) und Methan verwendet, obwohl auch andere Gase zum Einsatz kommen können, z. B. Halogenide (halide), Organosilan (organosilane) und Germane. Beim MOCVD-Verfahren werden z. B. Organosilicon, Organogermanium und Methan verwendet, um einen Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm auf einem Siliciumsubstrat zu bilden. Die nach diesen Verfahren hergestellten Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilme zeigen Eigenschaften, die ähnlich den Filmen sind, die nach dem MBE-Verfahren hergestellt worden sind (die Abkürzung CVD bedeutet Chemical Vapor Deposition).

Ein nach den obigen Verfahren auf einem Siliciumsubstrat hergestellter Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm läßt sich vorteilhaft als Basis für einen Bipolartransistor, als Kanal für einen modifizierten FET oder dergleichen verwenden. Auch eine Verwendung eines solchen Films als i-Schicht in einem Photodetektor ist sehr wirkungsvoll.

Die Herstellung eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms nach den oben genannten Methoden wird nun anhand der folgenden Beispiele näher beschrieben.

#### Beispiel 6

Dieses Beispiel beschreibt einen Prozeß zur Herstellung einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung durch das plasmaverstärkte CVD-Verfahren. Zunächst wird ein Siliciumsubstrat chemisch gereinigt und in einen Reaktor eines Systems zur Durchführung des plasmaverstärkten CVD-Verfahrens hineingebracht, wobei zunächst die Oberfläche des Substrats weiter gereinigt wird. Die Temperatur des Substrats wird hierzu auf  $550^\circ\text{C}$  eingestellt. Gasförmiges  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{GeH}_4$  und  $\text{CH}_4$  wird in den Reaktor eingeleitet, um jeweils eine Si-, Ge- und C-Quelle zu bilden. Alternativ können auch  $\text{Si}_2\text{H}_6$  (Siliciumquelle),  $\text{GeF}_4$  (Germaniumquelle) und  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  oder  $\text{SiH}_2(\text{CH}_3)_2$  (Kohlenstoffquelle) in diesem Schritt verwendet werden. Zusätzlich kann ein Trägergas, wie z. B.  $\text{H}_2$  oder He, verwendet werden. Diese Gase werden in den Reaktor hineingeleitet, und zwar unter Anlegung eines Hoch-

reagieren. Auf diese Weise wird eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung mit derselben Zusammensetzung wie diejenige der in den Beispielen 1 oder 2 geformten Legierung auf dem Substrat erhalten. Die Steuerung der Zusammensetzung erfolgt durch Steuerung der Flußraten der reaktiven Gase. Ferner können gleichzeitig  $\text{PH}_3$  oder  $\text{B}_2\text{H}_6$  eingeführt werden, und zwar in einem mit  $\text{H}_2$  oder  $\text{He}$  verdünnten Zustand, um eine dotierte Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht vom n- oder p-Typ zu erhalten.

Die auf diese Weise hergestellte Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung zeigt Eigenschaften, die denjenigen des Legierungsfilms entsprechen, der nach dem MBE-Verfahren hergestellt worden ist. Genauer gesagt stimmt die Gitterkonstante der Legierung praktisch mit derjenigen des Siliciumsubstrats überein, während die Veränderung der Energiebandlücke  $E_g$  der Legierung in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung entsprechend der in Fig. 1 gezeigten Weise schwankt. Es konnte gezeigt werden, daß sich mit Hilfe des plasmaverstärkten CVD-Verfahrens eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Schicht herstellen läßt, deren Gitterkonstante nahezu gleich derjenigen des Siliciums ist, und deren Energiebandlücke sich von derjenigen des Siliciums unterscheidet.

#### Beispiel 7

In diesem Beispiel wird ein Prozeß zur Herstellung einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung mit Hilfe des Photo-CVD-Verfahrens beschrieben. Die Oberfläche eines Siliciumsubstrats wird gesäubert, wobei die Temperatur des Substrats auf  $400^\circ\text{C}$  eingestellt ist.  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{GeH}_4$  und  $\text{C}_2\text{H}_4$  werden in einen Reaktor eingeleitet und mit Ultraviolettlicht von 185 nm bei einem Druck von 5 Torr bestrahlt, um die Reaktion ablaufen zu lassen. Die Flußraten dieser Gase werden gesteuert, um einen Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm mit derselben Zusammensetzung wie diejenige der in Beispiel 6 hergestellten Legierung und mit einer Dicke von  $1\text{ }\mu\text{m}$  auf dem Siliciumsubstrat zu erzeugen. Dieser Legierungsfilm weist Eigenschaften auf, die ähnlich den Eigenschaften des Films sind, der nach Beispiel 6 hergestellt worden ist.

Durch Steuerung der Flußraten der genannten Gase lassen sich die Quellen steuern. Die Ergebnisse dieses Beispiels zeigen, daß mit Hilfe des Photo-CVD-Verfahrens eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung hergestellt werden kann, deren Gitterkonstante nahezu gleich derjenigen des Siliciums ist und deren Energiebandlücke  $E_g$  sich von derjenigen des Siliciums unterscheidet.

#### Beispiel 8

Dieses Beispiel beschreibt einen Prozeß zur Herstellung einer Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung durch ein CVD-Verfahren mit mikrowellenangeregtem Plasma. Ein Siliciumsubstrat wird in einen Reaktor zur Säuberung der Substratoberfläche hineingebracht. Die Temperatur des Substrats wird auf  $500^\circ\text{C}$  eingestellt. In den Reaktor wird gasförmiges  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{GeH}_4$  und  $\text{CH}_4$  hineingelegt. Mikrowellen von 2,45 GHz werden bei einem Druck von  $10^{-1}$  Torr angelegt, um die Reaktion ablaufen zu lassen. Die Flußraten der Gase bzw. Quellen

Beispiel 6 erzeugt worden ist, sowie mit einer Dicke von  $1\text{ }\mu\text{m}$  auf dem Substrat. Dieser Legierungsfilm zeigt Eigenschaften, die ähnlich denjenigen der Legierung nach Beispiel 6 sind.

Anhand der Resultate dieses Beispiels konnte gezeigt werden, daß sich mit Hilfe des CVD-Verfahrens mit mikrowellenangeregtem Plasma ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm herstellen läßt, dessen Gitterkonstante nahezu gleich derjenigen des Siliciums ist, und dessen Energiebandlücke  $E_g$  sich von derjenigen des Siliciums unterscheidet.

#### Beispiel 9

Dieses Beispiel beschreibt einen Prozeß zur Herstellung eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms durch das thermische CVD-Verfahren oder durch das MOCVD-Verfahren. Die Oberfläche eines Siliciumsubstrats wird gereinigt und die Temperatur des Substrats auf  $650^\circ\text{C}$  eingestellt. Gasförmiges  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{GeH}_4$  und  $\text{CH}_4$  wird in einen Reaktor eingeleitet, um einen Gesamtdruck von 100 Torr aufzubauen. Auf diese Weise wird ein Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm durch das CVD-Verfahren auf dem Substrat gebildet. Ferner wird ein ähnlicher Film auch auf einem anderen Substrat durch das MOCVD-Verfahren gebildet, und zwar unter Verwendung von  $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ ,  $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ,  $\text{Si}(\text{n-C}_3\text{H}_7)_4$  oder  $\text{Si}(\text{C}_4\text{H}_9)_4$  als Siliciumquelle und  $\text{Ge}(\text{CH}_3)_4$  oder  $\text{Ge}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$  als Germaniumquelle. Die auf diese Weise hergestellten Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilme zeigen Eigenschaften, die denjenigen des Films entsprechen, der mit Hilfe des MBE-Verfahrens nach den Beispielen 1 oder 2 erzeugt worden ist.

Es konnte gezeigt werden, daß sich mit Hilfe des thermischen CVD-Verfahrens oder des MOCVD-Verfahrens eine Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierung herstellen läßt, deren Gitterkonstante im wesentlichen gleich derjenigen des Siliciums ist und deren Energiebandlücke  $E_g$  sich von derjenigen des Siliciums unterscheidet.

#### Beispiel 10

Dieses Beispiel beschreibt ein Verfahren zur Bildung eines Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms auf einer Silicium-Germanium-Legierung durch einen Aufwuchsprozeß.

Ein Silicium-Germanium-Film wird auf demselben Siliciumsubstrat wie das in Beispiel 1 verwendete Substrat unter Anwendung desselben und in Beispiel 1 verwendeten Systems gebildet. Das Molekularstrahl-Intensitätsverhältnis von Si zu Ge beträgt 90:10. Erreicht die Dicke des Silicium-Germanium-Legierungsfilms einen Wert von  $0,1\text{ }\mu\text{m}$ , so wird der Wachstumsvorgang dieses Films unterbrochen. Dann läßt man einen Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm auf dem Silicium-Germanium-Legierungsfilm aufwachsen, und zwar bei einem Strahlintensitätsverhältnis des Si zu Ge zu C von 90:9:1. Erreicht die Dicke des Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Films einen Wert von  $1\text{ }\mu\text{m}$ , so wird der Wachstumsprozeß für diesen Film unterbrochen.

Obwohl die Gitterkonstante des so gebildeten Silicium-Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilms mit derjenigen des Siliciums übereinstimmt, wird eine Gitterkonstanten-Fehlannahme von etwa 0,4% zwischen



erhalten. Da jedoch der Silicium-Germanium-Legierungs-  
film dünner ist als seine kritische Dicke, stimmt  
seine Gitterkonstante in Richtung parallel zum Substrat  
mit derjenigen des Siliciums überein. Demzufolge treten  
keine durch Fehlanpassung erzeugten Versetzungen in  
der Grenzfläche zwischen der Silicium-Germanium-  
Kohlenstoff-Legierung und dem Silicium-Germanium-  
Legierungsfilm auf.

Die Ergebnisse dieses Beispiels zeigen, daß es mög-  
lich ist, durch epitaktisches Aufwachsen einen Silicium-  
Germanium-Kohlenstoff-Legierungsfilm auf einem Sili-  
cium-Germanium-Legierungsfilm zu erzeugen.

Die Erfindung wurde lediglich im Zusammenhang mit  
einem bipolaren Transistor, einem Feldeffekttransistor  
und einer Photodiode näher beschrieben. Es ist aber  
auch möglich, die Erfindung bei anderen Halbleiterein-  
richtungen einzusetzen, auch bei Halbleitereinrichtun-  
gen, die einen Heteroübergang aufweisen.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

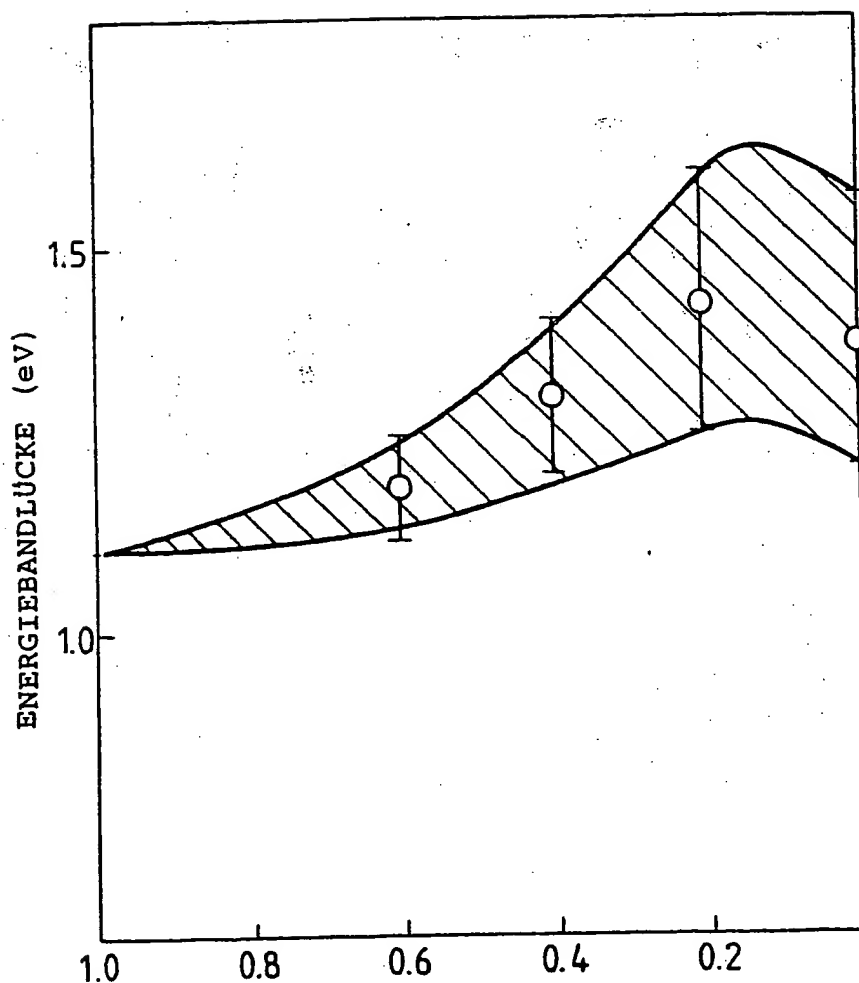
65

30 32

Nummer:	38 23 249
Int. Cl. <sup>4</sup> :	H 01 L 29/267
Anmeldetag:	8. Juli 1988
Offenlegungstag:	19. Januar 1989

3823249

FIG. 1



SILICIUMANTEIL IN EINER SILICIUM-GERMANIUM-KOHLENSTOFF-LEGIERUNG (Ge: C = 9:1)

3823249

FIG. 2

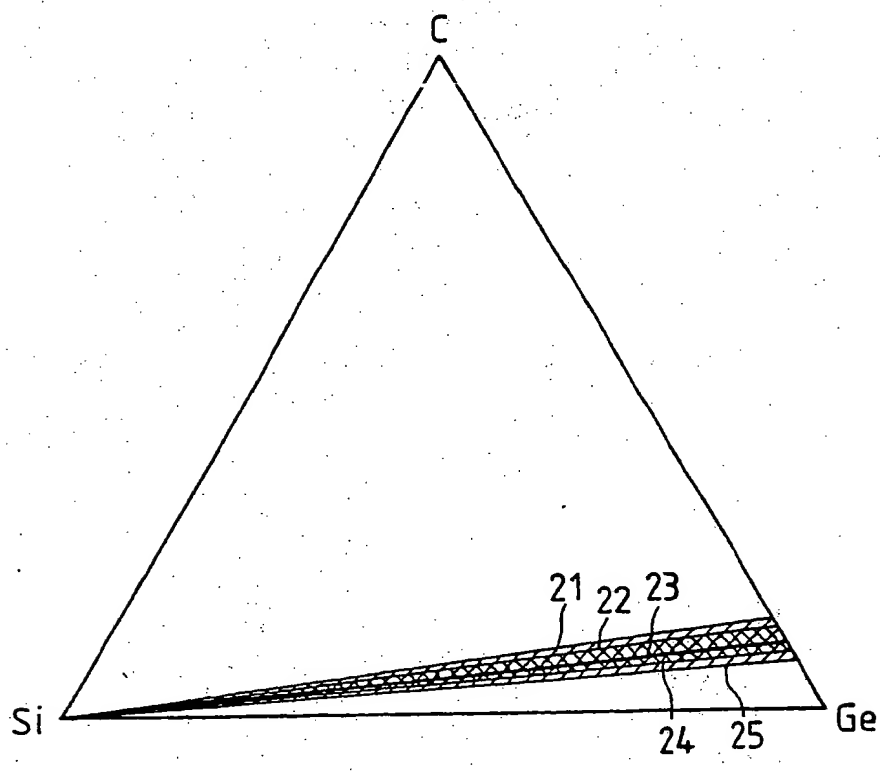
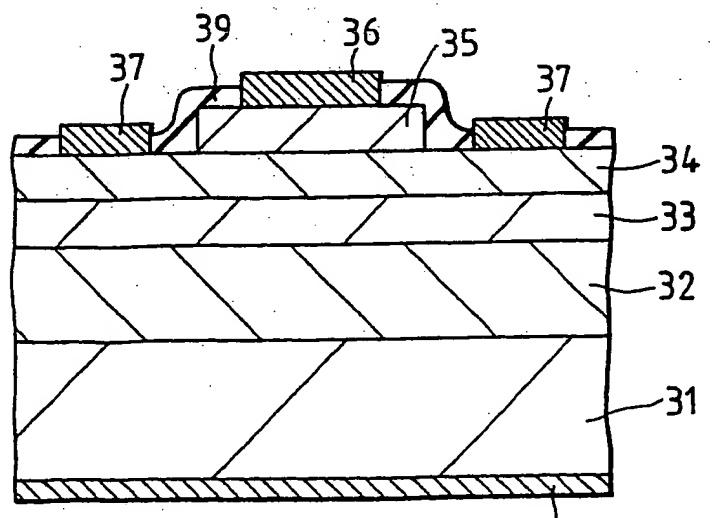


FIG. 3



3823249

FIG. 4

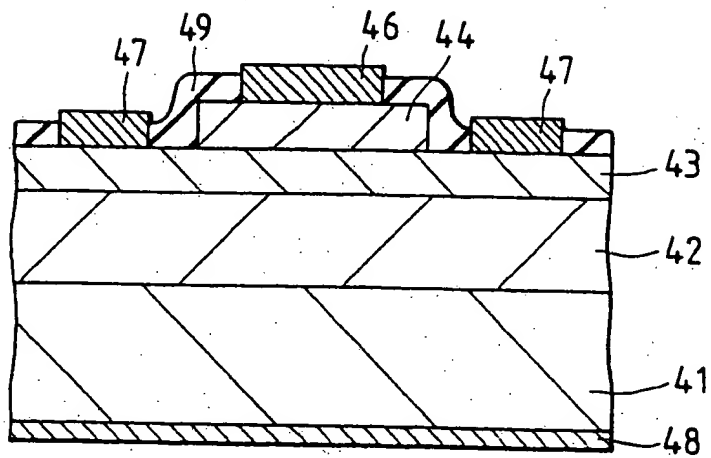


FIG. 5

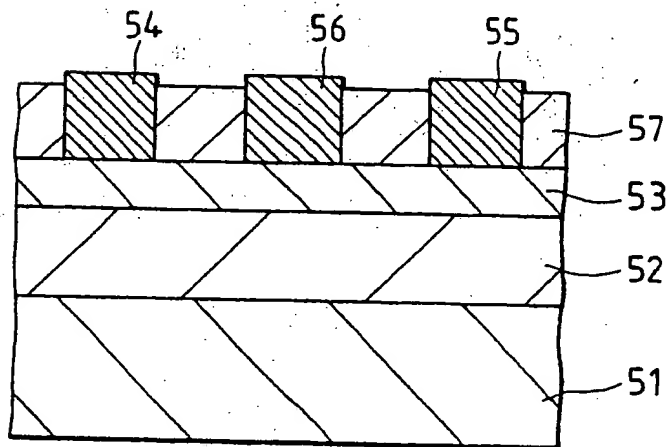


FIG. 6

